

# 切削加工の無人化と加工データ作成の自動化に向けた取り組み

## The Initiatives to Automate Cutting Processes and CAM Systems

金丸 桃子, 佐野 記章

**要約** 金型製作の納期短縮のため、金型業界では無人加工の実現や加工データ作成工数の削減等の取り組みが行われている。したがって、CAMシステムのメーカーには切削加工の無人化を実現する加工データを作成する機能、および加工データ作成の自動化機能を開発することが求められている。金型製作における切削加工工程は、金型部品毎に加工要件が異なるため、CAMシステムに求められる機能要件も異なる。CADmeisterのCAMには、機能要件に応じた専用機能が揃っており、最適な加工データを作成することができる。また、製品と工具との干渉を自動で回避し、干渉回避した箇所の加工残りを安全な工具系で加工するパスを自動作成する機能を開発することで、加工機オペレータが担っていた作業をシステム化し、無人加工をできるようにした。さらに、加工データ作成の自動化を実現する機能を開発することで、データ品質の安定化と加工データ作成工数の削減を実現した。

**Abstract** In order to shorten the delivery time of die manufacturing, the die industry is making efforts such as realization of unmanned machining and reduction of processing data creation man-hour. Therefore, it is required for CAM manufacturers to develop functions to create machining data to realize unmanned cutting and functions to standardize and automate machining data creation. Since the cutting process in the mold manufacturing differs in the machining requirement for each mold part, the function required for CAM system also differs. CADmeister CAM has all the exclusive functions according to the functional requirements, and it is possible to make the optimum machining data. And, by developing the function to automatically avoid the interference between the product and the tool, and to automatically create the pass to machine the remaining of the machining in the avoided place with the safe tool system, the work which the machine operator shouldered was systematized, and the unmanned machining was enabled. In addition, stabilization of data quality and reduction of man-hour of data preparation were realized by developing a function to realize standardization and automation of processing data preparation.

### 1. はじめに

CAMとは、Computer Aided Manufacturingの略であり、CADシステムで生成された設計情報を基に、切削加工を行う工作機械を制御する加工プログラムを作成するシステムのことである<sup>[1]</sup>。UEL株式会社（以降UEL）では、1984年以降、金型業界向けのCAD/CAM/CAEシステムの開発を行っている。主要顧客である金型業界では、グローバルな生産体制への転換やリードタイム短縮、技術伝承、人材確保等の課題を抱えている<sup>[2]</sup>。したがって、CAMシステムを提供するUELには、金型製作の納期短縮やコスト削減に向け、切削加工の無人化を実現する機能や、加工データ作成の標準化、更に標準化による自動化を実現する機能の開発が求められている。

本稿では、UELが取り組む切削加工の無人化と加工データ作成の自動化について述べる。2

章では、顧客が抱える切削加工や加工データ作成の課題、3章では、UELが提供するCAM商品の特徴を述べる。4章では、UEL製のCAM商品に搭載されている、無人加工を実現する具体的な機能、5章では、加工データ作成の自動化を実現した機能について紹介する。6章では、加工データ作成の更なる自動化に向けた課題について述べる。

## 2. 顧客作業の課題

自動車や家電等の量産型機械工業では、大抵の部品が金型によって成形されており、製品の品質や精度は最終的に金型によって決まる。したがって、UELの主要顧客である金型業界では、高品質で高精度の金型をいかに低コストかつ短納期で製作するかが課題であり、その課題に対応するため、切削加工の無人化や加工データ作成の自動化を推進している。しかし、切削加工における完全な無人化は未だ実現しておらず、加工データの作成は、CAMシステムの自動化が進んではいるものの、自動化機能が不十分であることに起因し、CAM担当者のスキルによって品質にばらつきが発生するという課題を抱えている。本章では、金型製造部門が抱える切削加工と加工データ作成の課題について述べる。

### 2.1 切削加工の課題

マシニングセンタや放電加工機等の機械技術の進化及び、加工データを作成するCAMシステムの普及により、金型機械加工部門における自動化や省人化が進んでいる<sup>[3]</sup>。夜間や休日に加工機を無人運転させることで、金型製作の納期短縮や作業者の残業時間の低減が実現しつつある反面、未だに有人加工する部位も存在する。特に、プレス金型のトリム工程やフランジ工程の切り刃部と2番逃がし部を加工するプロファイル加工においては、未だに有人加工をしている顧客も多く、無人加工が進んでいない分野の一つである<sup>[4]</sup>。有人加工の場合、二次元の加工データを用いて加工機オペレータが工具と製品の干渉を目視確認し、ハンドル操作で干渉を回避しながら加工する(図1)。このため、加工機付近での作業には常に危険が伴う。また、有人加工の場合は作業時間に限度があるため、納期や働き方等への課題も生じる。



図1 有人加工

### 2.2 加工データ作成の課題

金型の納期短縮のためには、加工機の稼働率の向上や加工不良による手戻りの防止等が重要である。したがって、CAM担当者には、加工データの提供スピードの向上や、高効率で高品質かつ安全性の高い加工データを作成するスキル、作成された加工データの良否を判断するス

キルなどが求められる。しかし、加工データ作成においては、作業者が意図するパスを作成するために、設計データを修正してパスを作成するためのデータを新たに作成し、そのデータを基に加工データを作成するケースもある。このように、CAM システムでの加工データ作成業務が属人化しているケースも多いため、作業者のスキルによって加工時間や加工品質に差が生じる。また、加工する形状に応じた加工法や工具の選択、切削条件など、作業者には最適な加工条件を設定するための知識も求められる<sup>[5]</sup>。したがって、CAM 担当者の知識やスキルの差によって加工データの品質に差異が生じる。

### 3. CADmeister の CAM 機能の特徴

CADmeister とは、UEL が開発している CAD/CAM 機能の総称であり、金型の構造部から製品部の加工まで幅広く対応した三次元統合の CAD/CAM システムである<sup>[6]</sup>。CADmeister の CAM 機能は、基本的な三次元 CAM 機能が搭載された CAM だけでなく、鋳物型構造部加工に特化した CAM-STRUCTURE や、プロファイル部の荒加工から仕上げ加工までの自動加工をサポートする 3D プロファイル等、計測機能も含めて計 12 商品の幅広い商品ラインナップで構成されている (図 2)。近年は、主要顧客である金型業界が抱える課題解決のため、切削加工の無人化や加工データ作成の自動化を実現する機能の開発に注力している。CADmeister の CAM 機能の特徴として、CAD/CAM 一気通貫と All in One CAM という二つのコンセプトが挙げられる。本章では、これらのコンセプトについて述べる。



図 2 CAM 商品構成

#### 3.1 CAD/CAM 一気通貫

CAD/CAM 一気通貫とは、設計から製造までのデータ作成を一つのシステムで実施することである。CADmeister の CAM は、CAD/CAM 統合型の CAM システムであるため、CAD から CAM へのデータ変換が不要で、CADmeister という一つのシステムで設計から加工まで一気通貫した作業を実施することができる。また、設計段階で付与した加工面色や形状等の加工特徴の情報を CAM で活用し、CADmeister の金型設計機能と連携させることで、高品質な加工データを効率的に作成できる。このように、CAD/CAM 一気通貫のコンセプトにより、設計部門から製造部門までのデータを CADmeister で一元化し、手戻りの削減と生産性の向上を実現している。

### 3.2 All in One CAM

All in One CAM とは、一つの CAM システムで金型製作に関する全ての加工データを作成できるようにするというコンセプトである。金型の部位ごとに加工要件が異なるため、CAM システムに求められる機能要件も異なる。したがって、各部位ごとに異なる CAM システムを使用して加工データを作成している顧客も多い。CADmeister の CAM は、CADmeister という一つの CAM システムだけで全ての加工要件に応じた加工パスの作成を実現するために、金型の形状加工に特化した CAMX (キャムエクス) や CAM-ADV (キャムアドバンス)、金型構造部加工に特化した CAM-STRUCTURE (キャムストラクチャー)、プレス金型の切り刃加工に特化した 3D プロファイル等、幅広い機能及び商品ラインナップを取り揃えている。

CAM のデータベースや操作性が統一された CADmeister という一つのシステムで、金型製作における全ての加工データが作成できることで、CAM 担当者のローテーションや多能工化が容易になる (図 3)。将来的には一人の作業者が金型全体の加工データを作成できるようにするため、現在は各種加工データ作成を自動化する機能の開発及び改善に取り組んでいる。

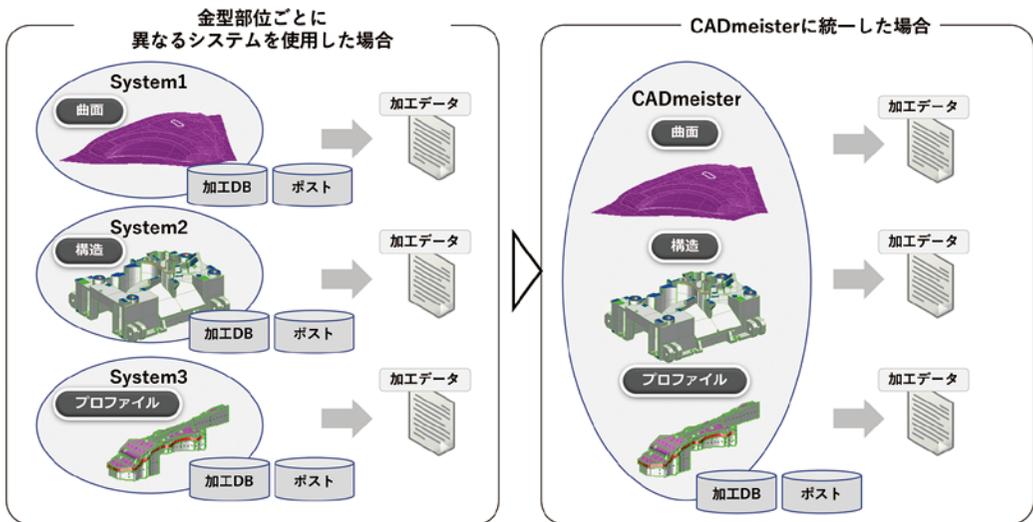


図 3 金型部位ごとに異なるシステム (左) と All in One CAM (右)

## 4. 無人加工を実現した機能

2章で述べたように、金型製作における加工工程のうち、未だに有人で加工している金型部位が存在するため、CAM システムのメーカーには、切削加工の無人化を実現する機能を開発することが求められる。本章では、無人加工の実現に向けて UEL が開発したプロファイルとボタンダイ穴、機上計測の三つの機能について述べる。

### 4.1 プロファイル

プレス金型のプロファイル加工とは、金型の切り刃部や 2 番逃がし部等、金型鋼材部の側面加工のことである。製品と工具との干渉回避や加工負荷による工具折損防止の保証が困難であるため、金型の加工工程において特に無人化が進んでいない分野の一つである。プロファイル加工の無人化を実現するため、CADmeister の 3D プロファイルには、製品と工具との干渉や

工具折損等のトラブルを事前回避する機能が搭載されている (図4)。干渉回避に関しては、干渉チェック機能により、パス作成時に製品面や座面と工具の干渉を確認し、工具干渉の無いパスを作成することができる。また、干渉自動回避機能により、接近離脱動作や切削動作時の干渉も回避したパスを作成することができる。工具折損に関しては、工具有効長チェックの機能により、切削幅と設定工具の刃長を比較し、有効長不足による工具折損を防止できる。刃長が足りない場合は、適切な刃長を算出する。また、最大傾斜角度チェックの機能により、駆け上がりや駆け下がり加工時の傾斜角度を制御し、急激な角度変化による工具負荷の変動を抑止できる。このように、CADmeisterの3Dプロファイルには干渉や工具折損等の加工トラブルを未然に回避する機能が豊富に搭載されているため、金型のプロファイル箇所の無人加工を実現することができる。

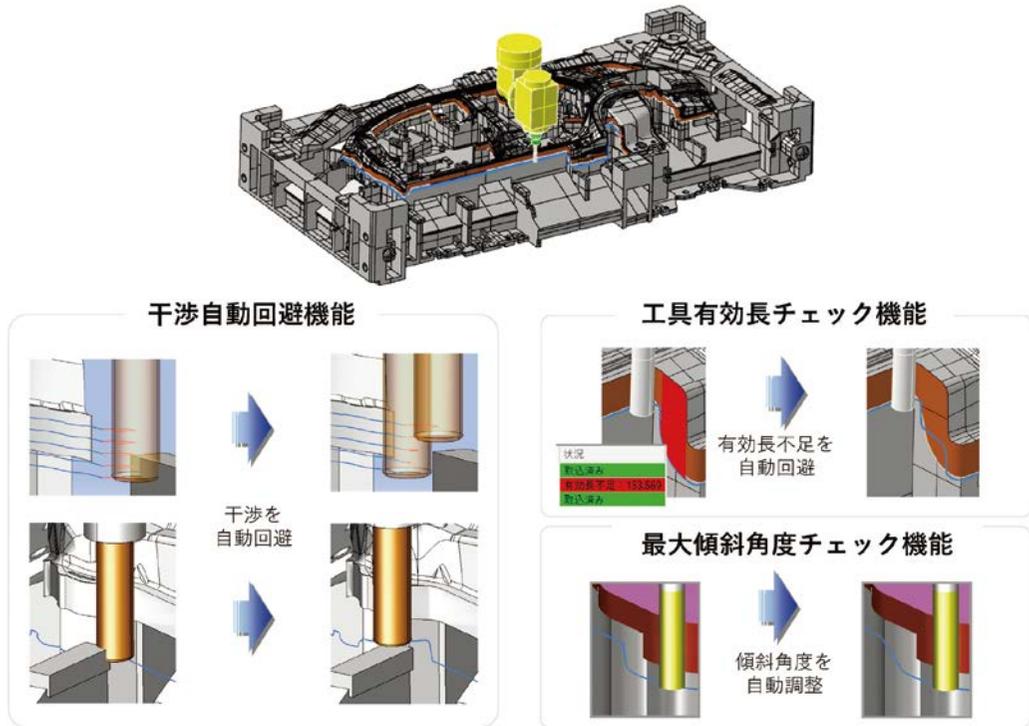


図4 3Dプロファイルの干渉回避

#### 4.2 ボタンダイ穴

プレス金型のボタンダイ穴加工とは、金型の下型にボタンダイという部品を取り付けるために施す穴加工のことである。ボタンダイ穴加工の課題は、製品形状にスプリングバックなどの見込みの織り込みを施すため、設計データから穴加工データを作成できないことである。顧客の多くは製品面の曲面加工後に手動で穴加工を実施している。具体的には、穴位置に移動する二次元の加工データを作成し、実際に加工する工具をハンドル操作で製品形状に現物合わせすることで、ボタンダイ穴深さまで有人加工している。

CADmeisterのCAM-ATTRIBUTE (キャム-アトリビュート) とは、図形の幾何特徴や設計時に付与された穴加工属性を利用し、標準化された穴加工データベースを用いて自動で穴加

工データを作成するシステムである。CAM-ATTRIBUTEに含まれるボタンダイ穴形状作成機能を使用することで、挿入するボタンダイ部品に応じたボタンダイの穴形状を一括で作成できる。また、確定した製品面を用いて板厚や型構造を考慮した穴モデルを作成できるため、穴加工基準位置や加工深さの調整作業が不要となる。穴モデルを作成後、ボタンダイ穴形状に応じた穴加工手順の作成と経路計算を実行することで、穴方向毎の加工データを出力でき、ボタンダイ穴加工の無人化が実現できる(図5)。金型構造部加工に特化したCAM-STRUCTUREにも本機能が搭載されており、プレス金型製造におけるボタンダイの穴加工データを作成する工数の削減と無人加工を実現している。

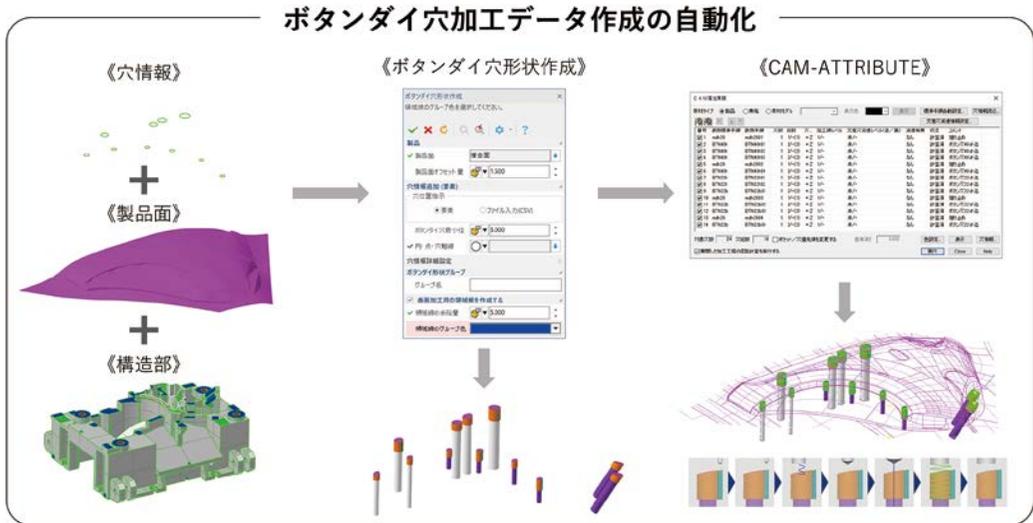


図5 ボタンダイ穴加工データ作成の自動化

### 4.3 機上計測

切削工程の品質を保証するため、加工機からワーク(加工対象物)を取り外す前に、加工機上で加工精度を確認する顧客が増えている。2023年11月に提供を開始したCADmeister 2023から、機上計測機能である「CAM-MEASURE」を新たにリリースし、加工機上で加工面の座標を計測して精度を確認するための計測プログラムをCADmeisterで作成できるようになった。既存のCADmeisterのCAM商品とCAM-MEASUREを組み合わせて使用することで、CADmeisterで作成した切削加工プログラムからCAM-MEASUREで作成した計測プログラムまでの工程組を設定でき、加工データと計測データを一括で作成できる(図6)。したがって、加工後に段取り替えを実施することなく、切削工程と計測工程を無人で実施できるようになった。計測手法には、計測マクロを用いた自動計測と、計測点上空に位置決めする二次元の加工データを用いてハンドル操作で計測する手動計測がある。自動計測は、計測点を面直方向から測定することもできるため、測定動作の干渉レスを保証した計測データを作成することができる。また、手動計測においても、計測点付近までの移動を、干渉レスを保証した加工データで制御し、計測動作のみをハンドル操作で行うことで、有人作業を最小限に抑えた半自動化も実現した。CAM-MEASUREによって、計測工程の工数削減と自動化ができるようになった。

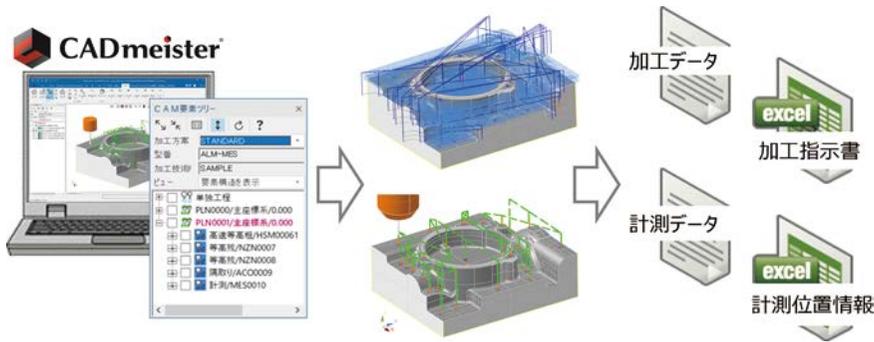


図 6 加工データと機上計測データの作成

## 5. 加工データ作成の自動化を実現した機能

2章で述べた通り，加工データ作成作業には，CAM 担当者のスキル差によって加工データの品質に差が生じるという課題がある．課題解決のため，CAM システムのメーカーには，加工データ作成の標準化を実現するデータベースの仕組み及び，データベースを使用して加工データ作成を自動化する機能の提供が求められている．本章では，加工データ作成の自動化に向け，UEL が開発した曲面，プロファイル，構造の三つの自動化に関する機能及び，機能開発により実現した工数削減について述べる．

### 5.1 曲面

CADmeister では，CAMX や CAM-ADV，CAM3D 等，金型の形状加工に特化したシステムを使用することで，曲面加工用のデータを生成することができる．顧客業務では，製品形状の加工データを作成する際に，意匠面や形状面，ビード等の製品特性に応じて加工法や工具，加工条件を標準化している．これらの CAM システムを用いて，粗加工用の素材形状や製品形状の意匠面，形状面等に加工属性を設定することで，加工部位を自動作成し，加工部位毎に加工工程組を標準化することで，加工データの自動作成を実現できる（図 7）．また，自動加工設計の機能では，形状の特徴や傾斜角度に応じてパス作成範囲や加工方法を最適化することもできる．製品形状の加工面色や傾斜角度を認識して自動で加工エリアを分割し，微小なエリアやエリア同士の隙間部分を自動で調整することで，加工効率の良い加工エリアを自動で設定する．このように，曲面加工用の加工データ作成において，CAMX や CAM-ADV，CAM3D 等のシステムでは加工工程の作成や加工領域を設定する作業を自動化できるため，作業者のスキル差に関係なく加工データの品質を安定させ，工数削減を実現している（図 8）．

✓ 加工部位毎に加工工程組を作成、加工エリアを自動設定

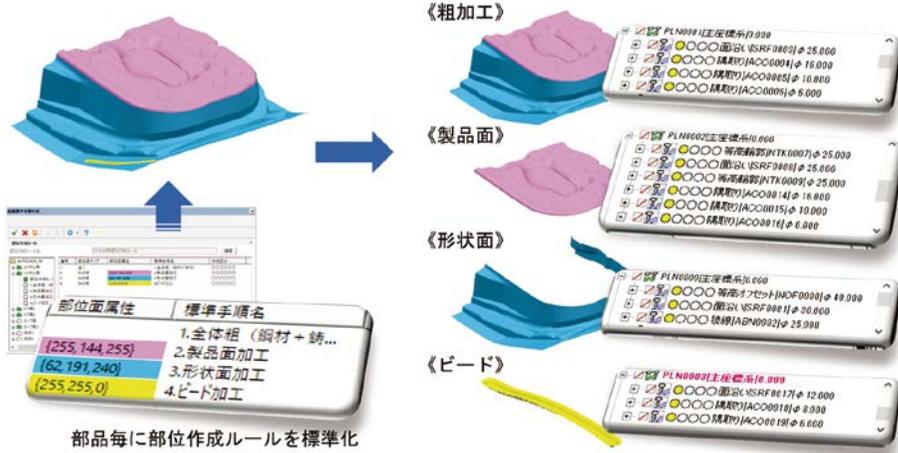


図7 加工部位毎の加工工程組

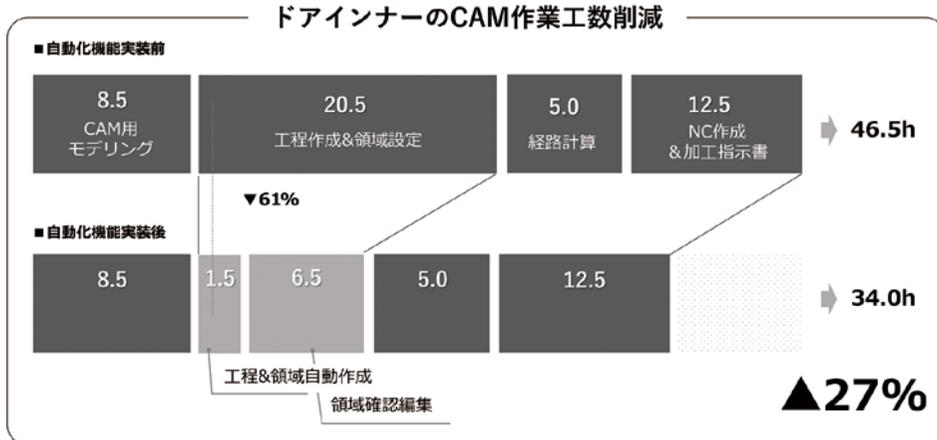


図8 曲面加工データ作成の工数削減事例

## 5.2 プロファイル

プレス金型の切り刃加工に特化した3Dプロファイルには、4章で述べた切削加工の無人化だけでなく、加工データ作成の自動化を実現する機能も備わっている。その代表的な機能である自動加工設計機能では、プロファイル線の色や線種、帯面の面色や加工特徴から加工部位を自動で創成し、粗加工から仕上げ加工までのパスを自動で作成することができる。鋳物製作用に作成したソリッド形状を基に、二次元のプロファイル線から三次元のプロファイル線を自動で作成できるため、二次元のプロファイル線を製品面に投影して形状線を作成する作業や、投影した形状線から帯幅を設定する範囲線を作成する作業が不要となり、CAM担当者のスキルに依存した品質の差は生じない。自動化した結果、加工データ作成の準備工数を大幅に削減することができる(図9)。また、被削材やプロファイルの形状毎に加工工程組を標準化することで、自動創成した加工部位に対して加工工程組となる標準手順を自動で引き当てることのできるため、最適な標準手順を自動決定することができる。

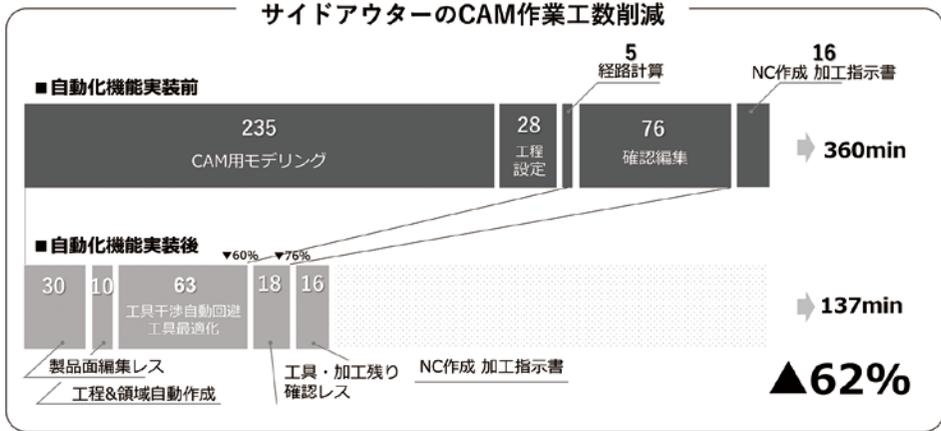


図9 プロファイル加工データ作成の工数削減事例

### 5.3 構造

金型構造部加工に特化したCAM-STRUCTUREでは、加工する座面や壁面、穴形状に付与された加工属性や加工面色等の加工特徴から加工部位を自動で創成し、安全で高効率な加工データ作成の自動化を実現している (図10)。

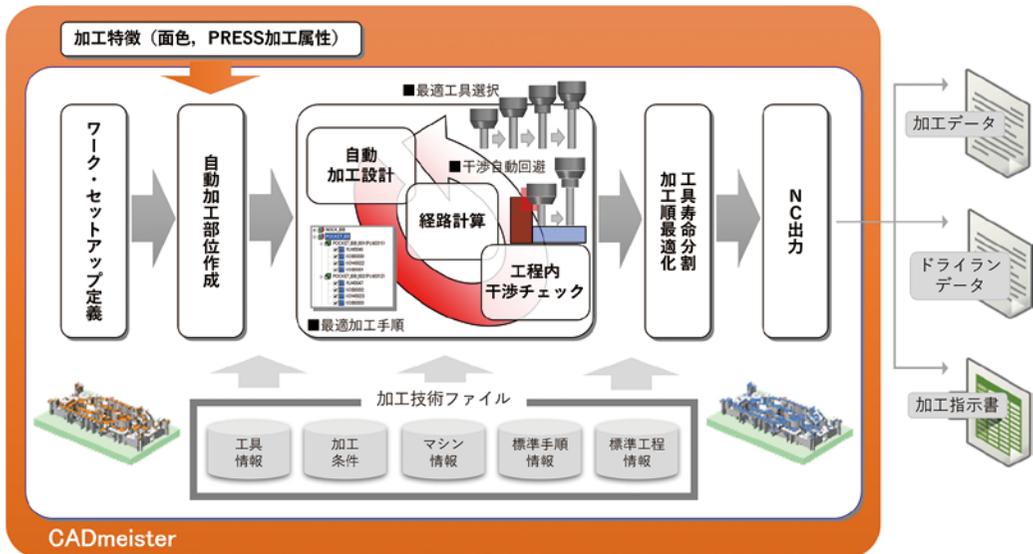


図10 構造部加工データ作成の自動化

顧客の加工ノウハウを加工技術ファイルにデータベース化することで、例えばデータ閾値以下の低い壁は輪郭加工、高い壁は突き加工というように、加工部位の形状に応じて加工方法を自動で決定し、周辺形状を参照して干渉のない最適な工具を自動で割り当て、被削材材質や工具径や工具突き出し量に応じた加工条件を自動で決定することができる。加工の工程組から経路計算、工具干渉チェックまでシステムが自動で計算するため、干渉のない最適な加工パスを自動で作成することができる。加工パスの作成後は、加工順最適化の機能によって工具交換回数を抑えた加工順序に自動で並び替え、加工部位間を移動する空中動作も最適化することがで

きる。したがって、CAM-STRUCTURE では、CAM 担当者のスキルに依存することなく安全で高効率なパスを自動で作成でき、加工データ作成時間の大幅な短縮を実現している（図 11）。

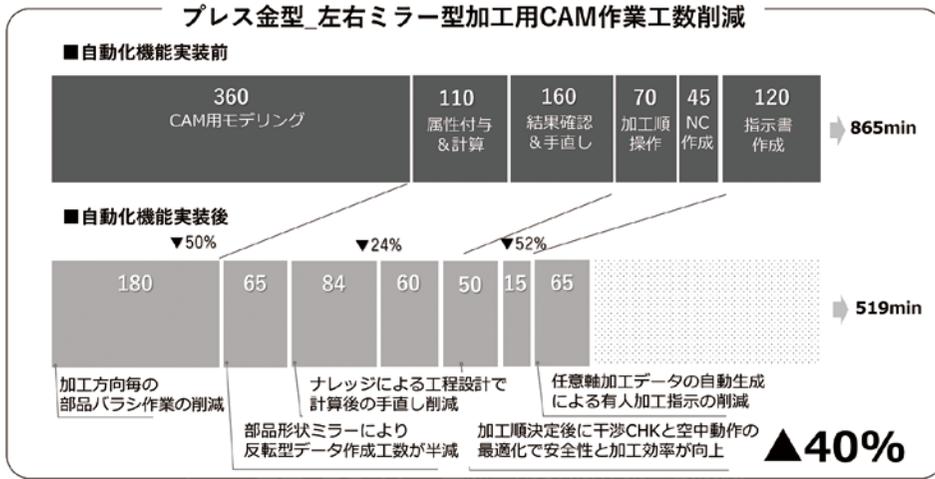


図 11 構造加工データ作成の工数削減事例

## 6. 更なる自動化に向けた課題

加工データ作成を自動化する機能は実現しているが、作成するための参照情報となる加工属性は、CAM 担当者が加工部位毎に判断して手動で付与している顧客が多い。加工属性の付与ルールを作成しているが、加工属性の付与漏れや設定ミスが発生する可能性は残る。CAD/CAM システムの特徴を活かし、設計工程で設計者が加工工程を意識することなく加工属性を自動付与する機能を提供して、作業の簡略化を進めることが求められている。

顧客環境では、曲面、プロファイル、構造の加工種別毎に作業者の担当を決め、加工データを作成している。加工種別毎に作業量、繁忙期が異なるため、作業者の多能工化も課題である。現在は、加工種別毎の専用機能に分かれているが、一人の作業者が加工データ作成の自動化機能を用いることで、全加工種のデータ作成を目指している（図 12）。

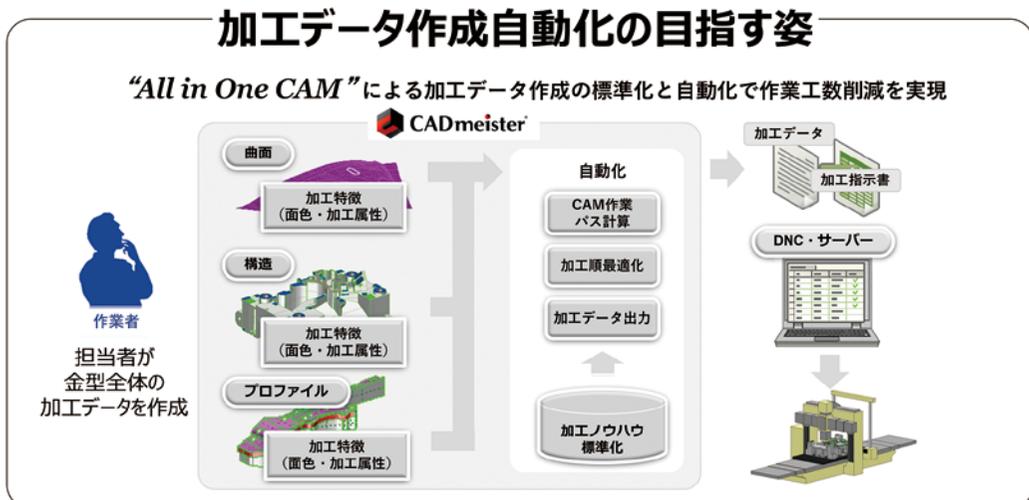


図 12 加工データ作成自動化の目指す姿

## 7. おわりに

顧客課題の解決に向けて UEL は切削加工の無人化と加工データ作成の自動化を実現する機能を開発して提供してきた。今後は作成された加工データの良否判定を自動化する機能や、加工データ作成の手戻りを削減する機能開発も企画し、更なる工数削減の実現に寄与していきたい。

最後に、本稿執筆にあたりご協力・ご指導いただいた皆様に深く感謝し、御礼申し上げます。

- 
- 参考文献**
- [1] 竹内芳美, CAM, 精密工学会誌, Vol.75, No1, 2009, P.50-51
  - [2] 青山英樹, 金型製作を支える CAD/CAM/CAE 関係 (携) 技術, 精密工学会誌, Vol.77, No7, 2011, P.636-638
  - [3] 横田悦二郎, 金型製造における自動化・省力化～機械加工分野だけが自動化・省力化への道ではない～, 型技術, 第 38 巻第 11 号, 日刊工業新聞社, 令和 5 年 10 月, P.18-21
  - [4] 佐野記章, 山内鉄哉, 無人加工を実現する『プロファイル加工』, BIPROGY 技報, BIPROGY, Vol.36 No.3 通巻 130 号, 2016 年 12 月, P69～80
  - [5] 浅井敬一郎, 日本における金型産業の特徴, 愛知淑徳大学論集, ビジネス学部・ビジネス研究科篇, 第 4 号, 2008 年 3 月, P1～13
  - [6] CADmeister の機能, UEL,  
<https://www.biprogy-uel.co.jp/cadmeister/function/index.shtml> (2024 年 8 月 28 日確認)

**執筆者紹介** 金丸 桃子 (Momoko Kanamaru)

2022 年 UEL(株)入社。同年より CAD/CAM システムの商品企画に従事し、現在に至る。



佐野 記章 (Noriaki Sano)

1998 年日本ユニシス・ソフトウェア(株) (2015 年日本ユニシス(株)に合併, 現 BIPROGY(株)) 入社。同年より CAD/CAM システムの開発に従事。2005 年日本ユニシス・エクセリューションズ(株) (現 UEL(株)) 出向。同年より CAD/CAM システムの開発および商品企画に従事。

